

Теоретическое обоснование оптимальных геометрических параметров сопла струйной веерной дождеобразующей насадки для полива шампиньонов

Ирек Раилевич Азизов, Алексей Владимирович Русинов,

Светлана Валентиновна Чумакова, Сергей Александрович Анисимов

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

e-mail: irekmen97@yandex.ru

Аннотация. В материалах статьи рассмотрены теоретические исследования оптимальных геометрических параметров сопла струйной веерной дождеобразующей насадки для полива шампиньонов и экспериментальные обоснования полученных результатов.

Ключевые слова: геометрические параметры; дождеобразующая насадка; веерное сопло; полив грибов; равномерность распределения дождя.

Для цитирования: Азизов И. Р., Русинов А. В., Чумакова С. В., Анисимов С. А. Теоретическое обоснование оптимальных геометрических параметров сопла струйной веерной дождеобразующей насадки для полива шампиньонов // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 140–146. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp140-146>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Theoretical substantiation of optimal geometric parameters of the nozzle of a jet fan rain-forming nozzle for watering champignons

Irek R. Azizov, Alexey V. Rusinov, Svetlana V. Chumakova, Sergey A. Anisimov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

e-mail: irekmen97@yandex.ru

Abstract. The materials of the article consider theoretical studies of optimal geometric parameters of the nozzle of a jet fan rain-forming nozzle for watering champignons and experimental substantiation of the results obtained.

Keywords: geometric parameters; rain-forming nozzle; fan nozzle; mushroom watering; uniformity of rain distribution.

For citation: Azizov I. R., Rusinov A. V., Chumakova S. V., Anisimov S. A. Theoretical substantiation of optimal geometric parameters of the nozzle of a jet fan rain-forming nozzle for watering champignons // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(10):140–146. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp140-146>.

Введение. Формирование урожая шампиньонов находится в тесной зависимости от содержания влаги в компосте и покровной почве. Важным условием для обеспечения высокой плотности роста грибов по всей площади культивации является равномерность внесения поливной нормы, т.к. в противном случае происходит снижение урожая и качества грибов. Также важно отметить, что избыточная влажность неблагоприятно сказывается на развитии гриба и способствует распространению болезнетворных организмов в субстрате (например, триходерма) [1–3].

Ранее нами были проведены исследования по определению оптимальной формы сопла струйной веерной дождеобразующей насадки (СВДН), применяемой для полива субстрата при выращивании шампиньонов. Было определено, что Y-образная форма сечения сопла позволяет до-



биться высокой равномерности полива [4]. Дальнейшие исследования предусматривают поиск оптимальных геометрических параметров Y-образного сопла СВДН с экспериментальным подтверждением, что является актуальной задачей.

Методика исследований. Практическая часть работы выполнена на базе УНПК «Агроцентр» ФГБОУ ВО Вавиловский университет. Объектом исследования является зависимость равномерности полива от геометрических параметров сопла СВДН. Исследования проводили согласно положениям СТО АИСТ 11.1–2010 [5].

Результаты исследований. Рассмотрим участок теплицы для полива, имеющий прямоугольную форму как прямоугольник OABC в координатной плоскости XOY (рис. 1).

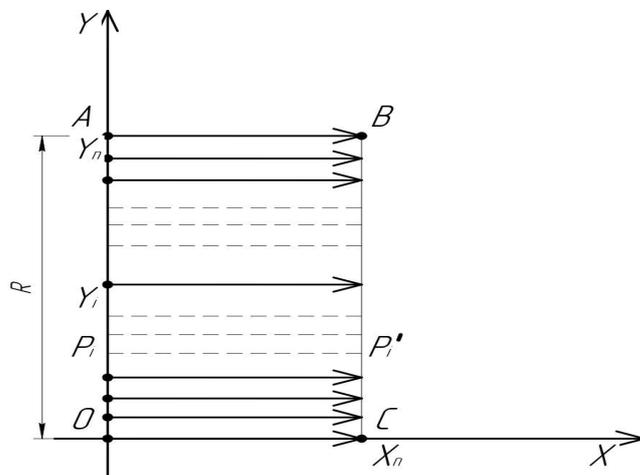


Рис. 1. Схема описывающая процесс полива автоматизированной поливной установкой на участке теплицы имеют координаты: т.О (0;0), т.А (0;Y_n), т.В (x_n;Y_n), т.С (x_n;0)

Автоматизированная поливная установка перемещается вдоль оси OY, осуществляя при этом полив. Условно данные точки можно представить в виде т. P_i (0;Y_i), где i = 0, n.

|OA| = y_n = |BC| – ширина поливной зоны;

|AB| = x_n = |OC| – длина поливной зоны.

Автоматизированная поливная установка движется на интервале [0, Y_n]. Автоматизированная поливная установка осуществляет полив на расстояние, определенное интервалом [0, x_n] по схеме, представленной на рис. 1.

Занимая стационарное положение в т. P_i, автоматизированная поливная установка осуществляет полив, выбрасывая струи воды в направлении вектора P_i P'_i, причем каждый из этих векторов является представителем множества {P_i P'_i}_{i=1}ⁿ, где векторы P_i P'_i являются коллинеарными, т.е. сонаправленными и имеют одинаковую длину.

$$\overrightarrow{P_0, P'_0} \uparrow\uparrow \overrightarrow{P_1, P'_1} \uparrow\uparrow \dots \uparrow\uparrow \overrightarrow{P_i, P'_i} \uparrow\uparrow \dots \uparrow\uparrow \overrightarrow{P_n, P'_n}$$

и

$$|\overrightarrow{P_0, P'_0}| = |\overrightarrow{P_1, P'_1}| = \dots = |\overrightarrow{P_i, P'_i}| = \dots = |\overrightarrow{P_n, P'_n}|.$$

В указанных обозначениях при изменении формы участка на произвольную, площадь орошаемой поверхности находится с помощью формулы:

$$S_p = \int_0^{x_n} \varphi(x) dx; \tag{1}$$

где $\varphi(x)$ – алгебраическая линия, описывающая верхнюю границу участка.

Опираясь на исходные данные, считаем, что площадь орошаемой площади находится по формуле:

$$S_p = |OA||AB| = y_n x_n; \tag{2}$$

В ходе построения математической модели описан полив: если ороситель находится в одной из точек P_i, согласно схеме на рисунке 1, тогда схема распространения струй и капель вдоль вектора P_i P'_i будет представлена следующим образом (рис. 2).



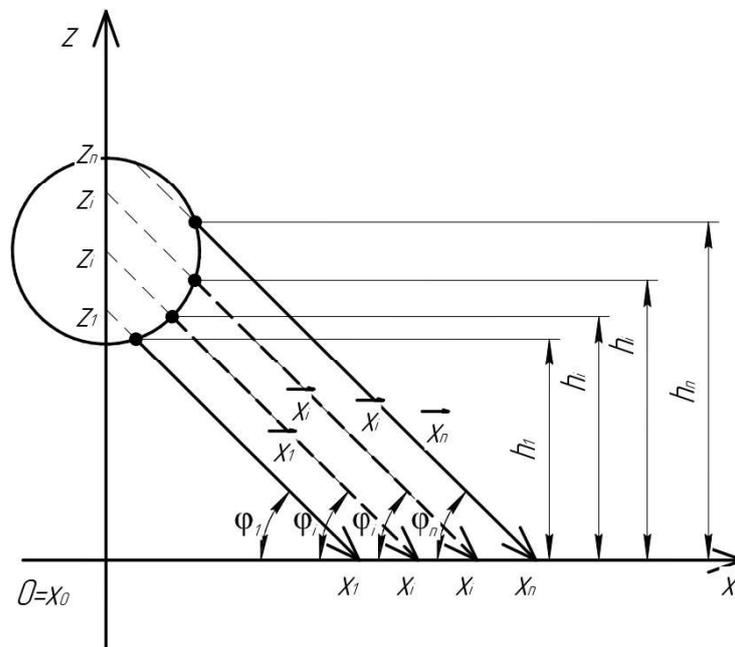


Рис. 2. Схема распределения струй воды по ширине орошаемого участка

Струи воды под действием напора N_p достигают поверхности субстрата в направлении векторов $\{\vec{x}_i\}_{i=1}^n$, составляющих это множество.

На ри. 2 длина вектора $|\vec{0}, \vec{x}_n|$ совпадает с длиной вектора $|\vec{P}_i, \vec{P}_i'|$ на рис. 1, т.е. $|\vec{0}, \vec{x}_n| = |\vec{P}_i, \vec{P}_i'|$, где $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_i, \dots, \vec{x}_n$ – это геометрические векторы, описывающие струи воды; φ_i – угол наклона к положительному направлению оси Ox , вектора \vec{x}_i . Тогда было получено множество $\{\varphi_i\}_{i=1}^n$, причем $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_n$.

Угол φ_i зависит от величины напора воды и от расположения щели оросителя, т.е., исходя из построения схемы распределения струй воды на рис. 2 получены следующие зависимости:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{N z_i}{x_i}; \quad (3)$$

$$x_i = \frac{N y_i}{\operatorname{tg} \varphi_i}; \quad (4)$$

После ввода обозначений:

$x_i = l_i$ – длина поливной зоны i -ой струи и h_i – высота движения вектора начальной точки описывающей струю воды, получили формулу показывающую взаимосвязь между величинами: N, l_i, h_i, φ_i ;

$$l_i = \frac{N h_i}{\operatorname{tg} \varphi_i}. \quad (5)$$

Или, не упорядочивая струи воды, получили формулу:

$$l = \frac{N h}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (6)$$

Формула показывает возможность расчета положения сопла оросителя в зависимости от требуемой длины поливной зоны, т.е.

$$h = \frac{l \operatorname{tg} \varphi}{N}. \quad (7)$$

Для уточнения размеров и формы сопла дождеобразующей насадки, была рассмотрена его проекция в плоскости $XOYZ$ (рис. 3).

Зависимости угла атаки струй воды соответствуют следующим зависимостям:

$$\angle \varphi_1 \geq \angle \varphi_2 \geq \dots \geq \angle \varphi_i \geq \dots \geq \angle \varphi_n;$$

$$\angle \varphi_1 = \max, \angle \varphi_n = \min.$$



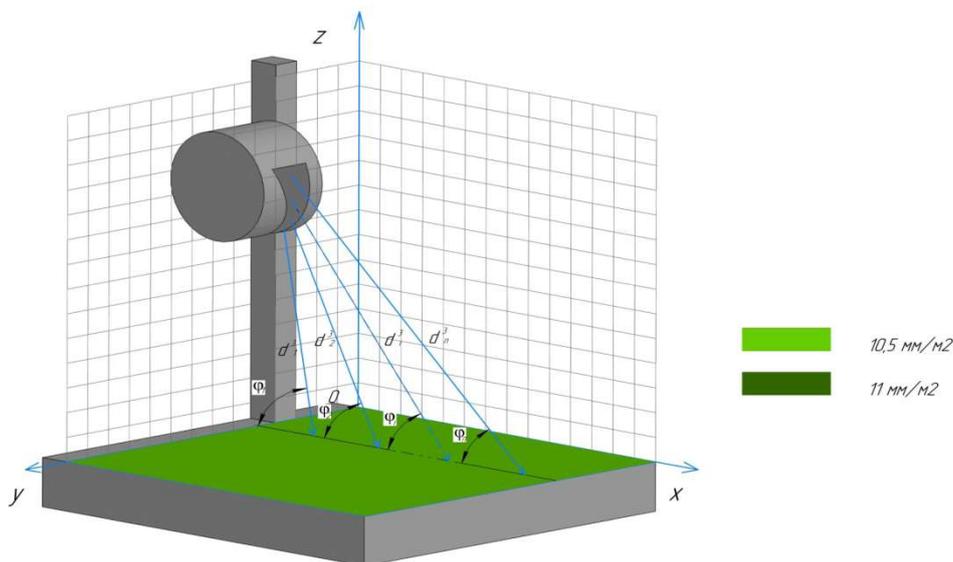


Рис. 3. Схема, показывающая зависимость равномерности полива от формы сопла оросителя

Исходя из физической природы струи воды, в модели сопоставлена длина полета капли l от ее массы:

$$l = \frac{Nm v^2 h}{tg\varphi} \quad (8)$$

Пусть d_k – размер k -й капли воды, тогда исходя из зависимости:

$$m = \rho V_k \quad (9)$$

где m – масса капли, кг; ρ – плотность воды, кг/см³; V_k – объем капли, см³.

Тогда получим:

$$l = \frac{NV_k h}{tg\varphi}, \quad (10)$$

где η – коэффициент

$$\eta = \frac{V_k}{V_{сферы}}; \quad (11)$$

R_k – радиус капли

$$V_k = \eta \frac{4\pi R_k^3}{3}; \quad (12)$$

$$V_k = \eta \frac{4\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3}{3} = \eta \frac{\pi d^3}{6}. \quad (13)$$

Размер капли V_k зависит от параметров сопла оросителя:

$$V_k = \varphi(a, b, c), \quad (14)$$

где a, b, c – параметры сопла дождеобразующей насадки.

$$V_k = abc \Rightarrow S_k = ab. \quad (15)$$

Из формулы (15) следует, что:

$$l = \frac{Nabch}{tg\varphi}. \quad (16)$$

Так как μ – коэффициент расхода, то расход воды:

$$Q = \mu ab \sqrt{2gN}. \quad (17)$$



Для определения длины сопла из формулы (17), получаем:

$$a = \frac{Q}{\mu b \sqrt{2gN}}. \quad (18)$$

Зависимость геометрических параметров сопла СВДН (длины и ширины) от расхода воды представлена на рис. 4.

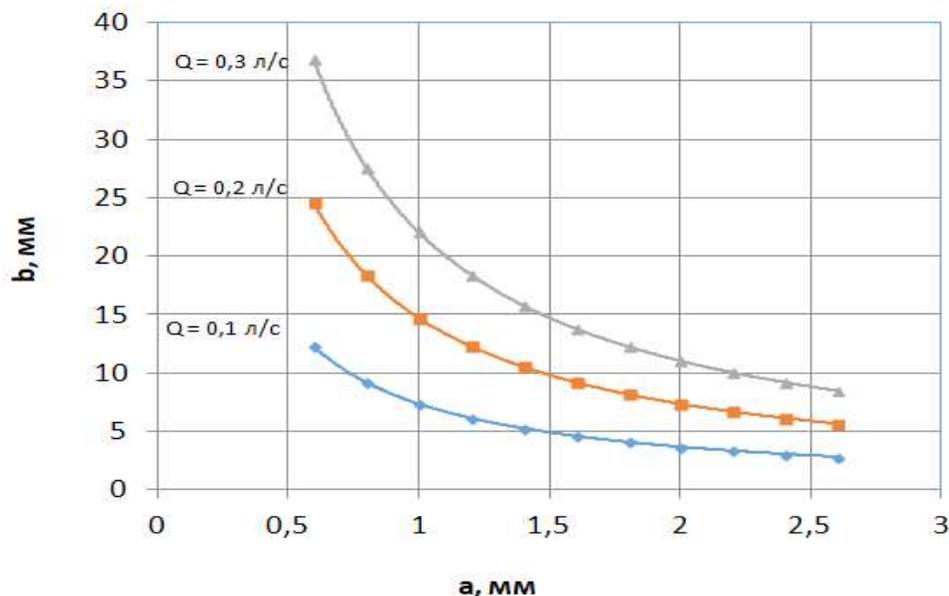


Рис. 4. Зависимость геометрических параметров сопла СВДН (длины и ширины) от расхода воды при давлении 0,1 МПа

Для определения изменения равномерности расхода воды по длине зоны полива (рис. 5), воспользуемся следующей зависимостью:

$$l = \sqrt{h^2 + x_n^2}. \quad (19)$$

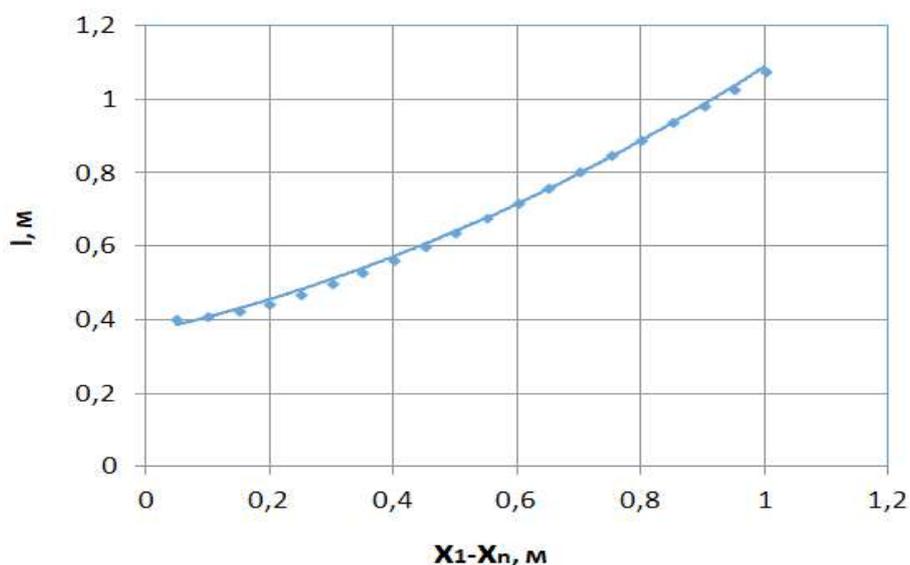


Рис. 5. График, показывающий изменение длины полета капли от длины зоны полива

Исходя из полученных аналитических зависимостей, были определены оптимальные геометрические параметры сопла СВДН, обеспечивающие равномерное распределение дождя по всей длине зоны полива. Схема сопла СВДН представлена на рис. 6, размеры представлены в таблице.

Для подтверждения теоретических исследований была изготовлена дождеобразующая насадка (рис. 7) и выполнены экспериментальные испытания равномерности полива предлагаемой насадкой, результаты которых представлены на рис. 8.



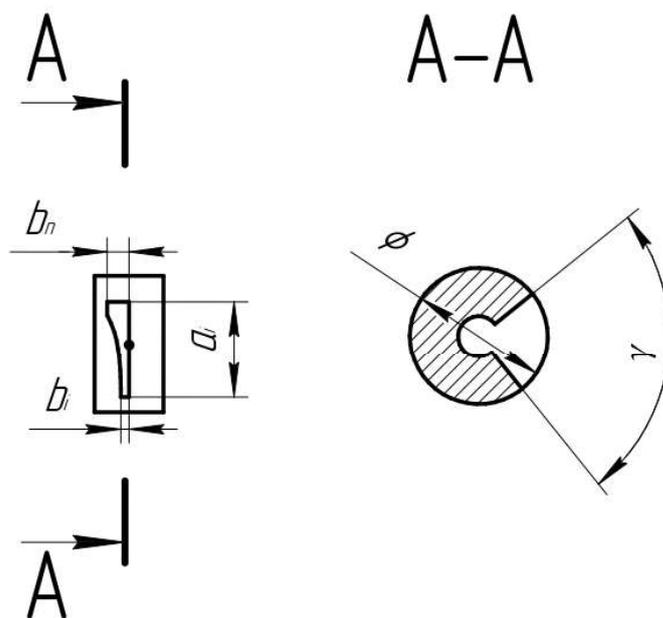


Рис. 6. Схема сопла струйной веерной дождеобразующей насадки

Оптимальные геометрические размеры сопла СВДН

Диаметр ϕ , мм	Угол раскрытия сопла γ , °	Длина сопла в i -й точке a_i , мм	Ширина сопла в i -й точке b_i , мм
20	89°51'	1,2	1,2
		1,2	1,226799
		1,2	1,274442
		1,2	1,348883
		1,2	1,453102
		1,2	1,604963
		1,2	1,816377
		1,2	2,137965
		1,2	2,62928
		1,2	3,165261

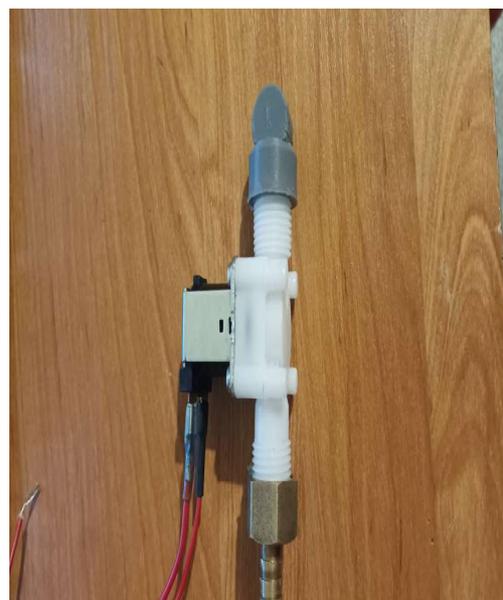


Рис. 7. Прототип струйной веерной дождеобразующей насадки

Установлено, что геометрические параметры сопла СВДН, определенные теоретически, релевантны экспериментальным данным. Степень расхождения экспериментальных данных к теоретическим, составила не более 5 %.



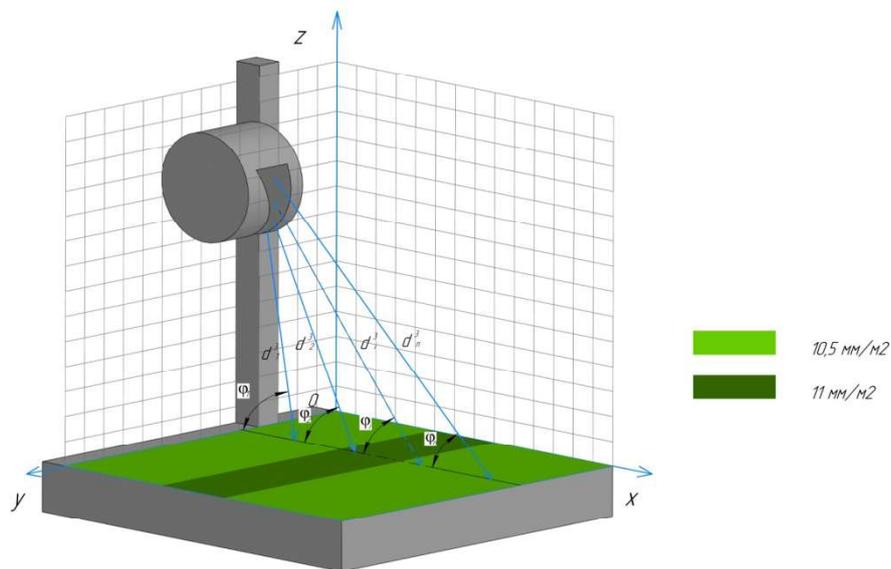


Рис. 8. Схема, показывающая результаты лабораторных исследований

Заключение. Таким образом, были выведены аналитические зависимости, позволяющие определить геометрические параметры сопла струйной веерной дождеобразующей насадки, при которых будет обеспечиваться равномерное распределение дождя по всей длине зоны полива субстрата шампиньонов, что будет благоприятно влиять на качество и урожайность грибов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flegg P.B. The water requirement of the mushroom crop. // *Sc. hortic.* 1974. 2(3). P. 237–247.
2. Meulepas A. Watergeven tijdens de teelt. // *Champignoncultuur.* 1988. 32. P. 287–293.
3. Девочкина Н.Л. Агротехнологическое обоснование промышленного культивирования шампиньона двуспорового: дис. ... д-ра с.-х. наук. 2004. 370 с.
4. Азизов И.Р., Русинов А.В., Анисимов С.А., Карпова О.В. Результаты исследований агротехнических показателей равномерности распределения дождя струйной веерной дождеобразующей насадкой при поливе грибов // *Аграрный научный журнал.* 2023. № 3. С. 103–107.
5. СТО АИСТ 11.1–2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». М., 2012. 54 с.
6. Горлач Б.А., Шахов В.Г. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация: учеб. пособие для вузов. 5-е изд., стереотип. Санкт-Петербург, 2023. 292 с.
7. Демидович Б.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу: учебное пособие для вузов. 24-е изд., стереотип. Санкт-Петербург, 2022. 624 с.
8. Чумакова С.В., Абдразакова Я.Р. Применение математического моделирования к задачам прикладного характера // *Современная интеллектуальная трансформация социально-экономических систем: материалы III Междунар. науч.-практ. конф.* 2020. С. 147–150.
9. Левченко Г.В., Андреев Н.А., Чумакова С.В. Обоснование конструктивных параметров устройства для обрезки растительных остатков шпалерных овощных культур // *Аграрный научный журнал.* 2020. № 5 С. 103–107.

REFERENCES

1. Flegg P.B. The water requirement of the mushroom crop. *Sc. hortic.* 1974; 2(3): 237–247.
2. Meulepas A. Watergeven tijdens de teelt. *Champignoncultuur.* 1988; 32: 287–293.
3. Devochkina H.L. Agrotechnological substantiation of industrial cultivation of double-leaf champignon. 2004. 370 p.
4. Azizov I.R., Rusinov A.V., Anisimov S.A., Karpova O.V. Results of studies of agrotechnical indicators of the uniformity of rain distribution by a jet fan rain-forming nozzle when watering mushrooms. *The Agrarian Scientific Journal.* 2023; 3: 103–107.
5. STO AIST 11.1–2010. Tests of agricultural machinery. M-tires and sprinkler installations. Methods of evaluation of functional indicators. Moscow, 2012. 54 p.
6. Gorlach B.A., Shakhov V.G. Math modeling. Construction of models and numerical implementation. 5th ed., stereotype. St. Petersburg, 2023. 292 p.
7. Demidovich B.P. Collection of problems and exercises in mathematical analysis: textbook for universities. 24th ed., stereotype. St. Petersburg, 2022. 624 p.
8. Chumakova S.V., Abdrazakova Y.R. Application of mathematical modeling to applied problems. *Modern intellectual transformation of socio-economic systems: materials of the III International. scientific-practical conf.* 2020: 147–150.
9. Levchenko G.V., Andreev N.A., Chumakova S.V. Justification of the design parameters of the device for trimming plant residues of trellis vegetable crops. *The Agrarian Scientific Journal.* 2020; 5: 103–107.

Статья поступила в редакцию 15.03.2023; одобрена после рецензирования 27.04.2023; принята к публикации 10.05.2023.
The article was submitted 15.03.2023; approved after reviewing 27.04.2023; accepted for publication 10.05.2023.

